Электр машиналары және электр жетегі

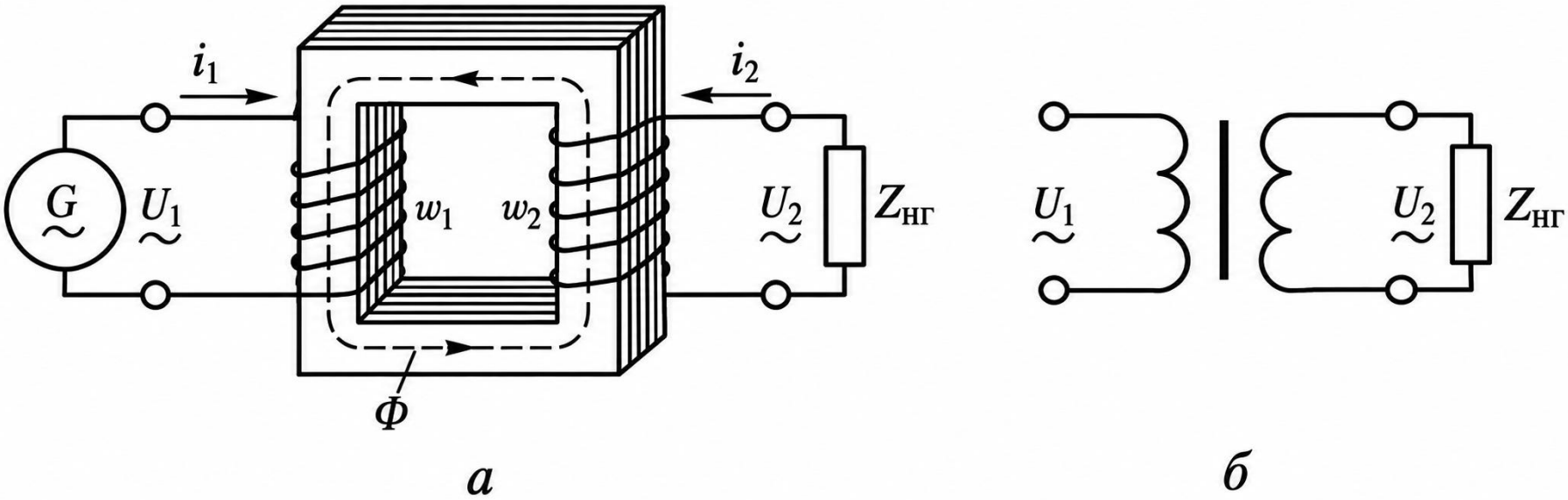


Профессор Досболаев М.Қ.

Трансформатор

Трансформатор дегеніміз екі немесе одан да көп индукциялы байланыстағы орамдардан тұратын статикалық электр магниттік құрылғы. Ол электр магниттік индукция құбылысы (Фарадей заңы) негізінде жұмыс істеп, айнымалы токтар жүйесін түрлендіруге (желідегі кернеуді (токты) төмендетуге немесе жоғарылатуға) арналған.

Трансформатордың а) электр магниттік және б) принциптік сызбасы



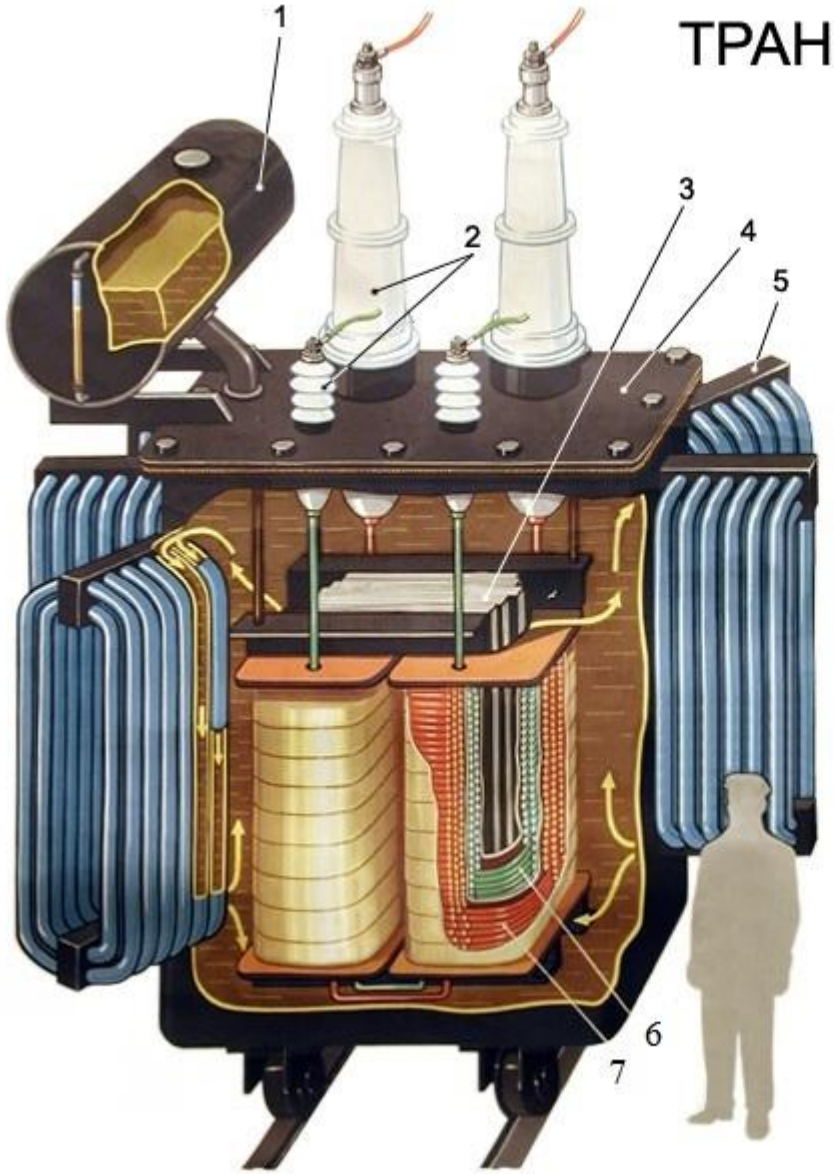
4-сурет

бірінші орамада өздік ЭҚК $e_1 = -w_1\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$,

екінші орамада өзара ЭҚК $e_2 = -w_2\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$, (1)

мұндағы w_1 және w_2 – бірінші және екінші орамалардағы орам сандары.

ТРАНСФОРМАТОР



1. Кеңейту бағы
2. Изолятор
3. Трансформатор өзекшесі
4. Бактың қақпағы
5. Радиатор
6. ТК орамдары
7. ЖК орамдары

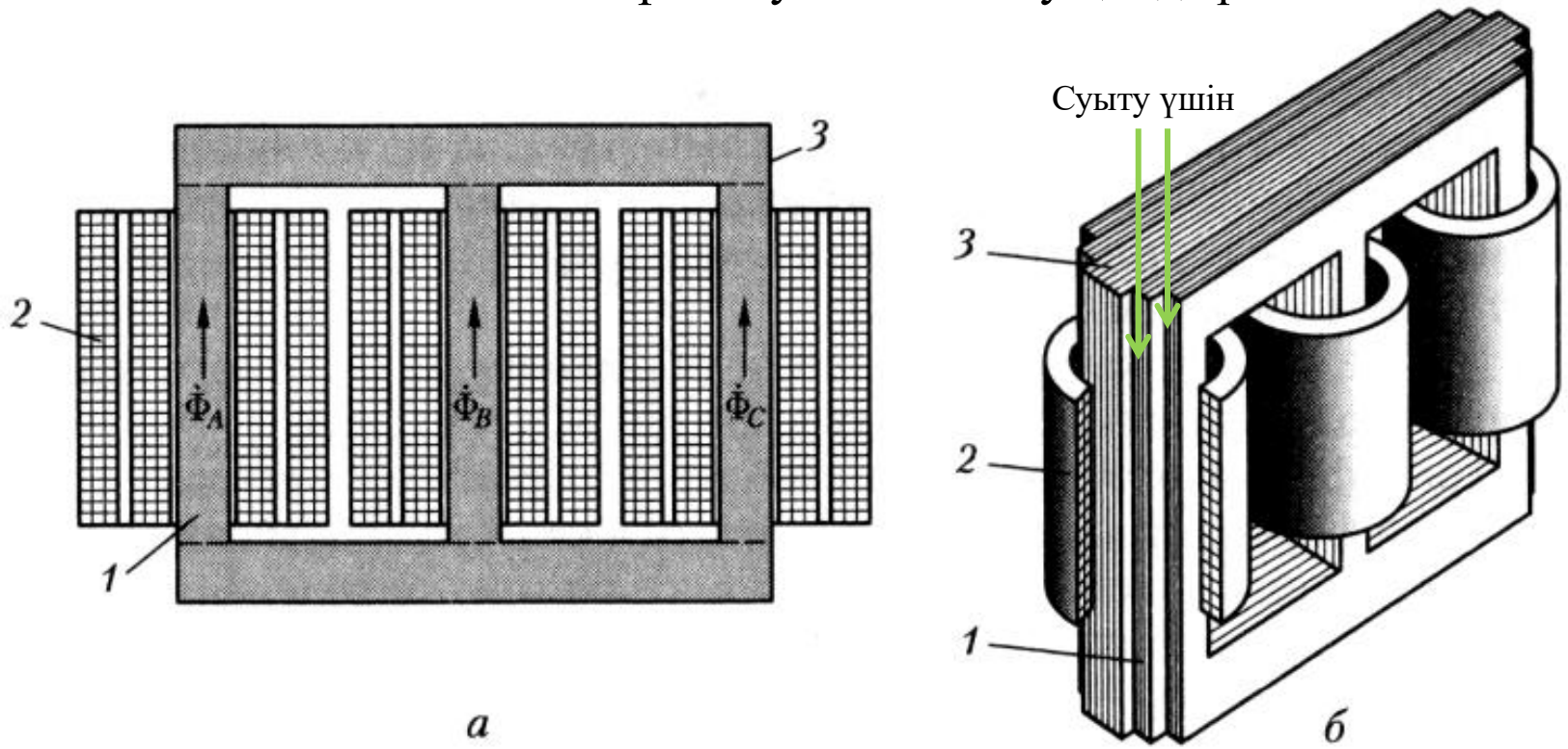
Трансформаторларды классификациялау

- қолданылуы бойынша - күштік және арнайы (байланыстырғыш, импульсті және т.б.);
- трансформацияланатын фаза саны бойынша - бір және үш фазалы;
- орамалар саны бойынша – екі және көп орамалы.
- кернеуі бойынша – жоғары кернеулі: 1000-1500 В-тан жоғары, төмен кернеулі: 1000-1500 В-тан төмен;
- қуаты бойынша – төмен қуатты (ондаған Вт), орташа қуатты (жүздеген Вт), жоғары қуатты (бірнеше кВт);
- жиілігі бойынша – төмендетілген жиілікті (50 Гц төмен), өндірістік жиілікті (50 Гц), жоғарылатылған жиілікті (100-10000 Гц), ультрадыбысты жиілікті (>10 кГц), жоғары жиілікті (>100 кГц);
- суыту жүйесінің түрі бойынша – табиғи, ауа ағынымен (газбен) және маймен (сұйықтықпен) суытылатын

Үшфазалы трансформатор өзекшесі

стерженді (С), бронды (Б), тороидты (Т), бронстерженді (БС)

Магнит ағынын күшейту және бекіту қондырғысы



Стерженді магниттік өткізгішті трансформатор.

1 – қалыңдығы 0.5 мм болат пластиналардан құралған стержень.

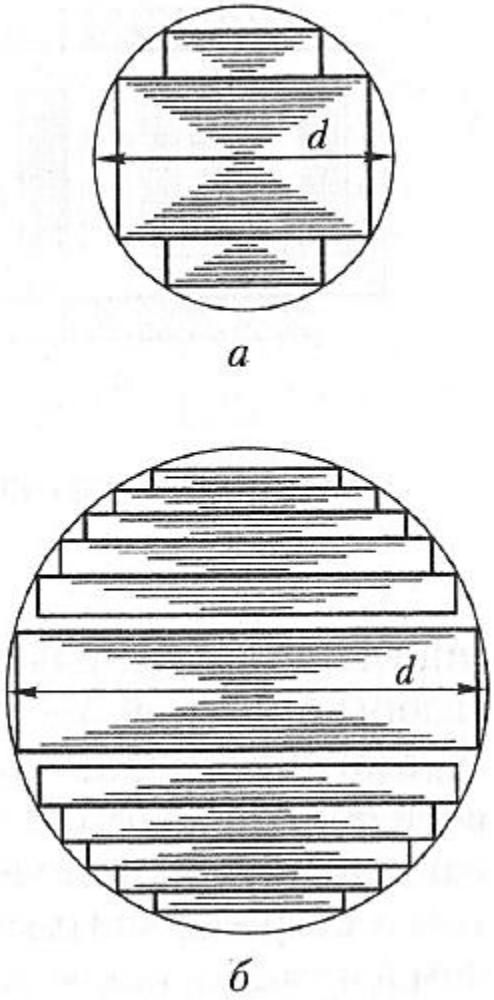
2 – орамдар, 3 – ярма (бекітуші)

Бірфазалы стерженді трансформатор



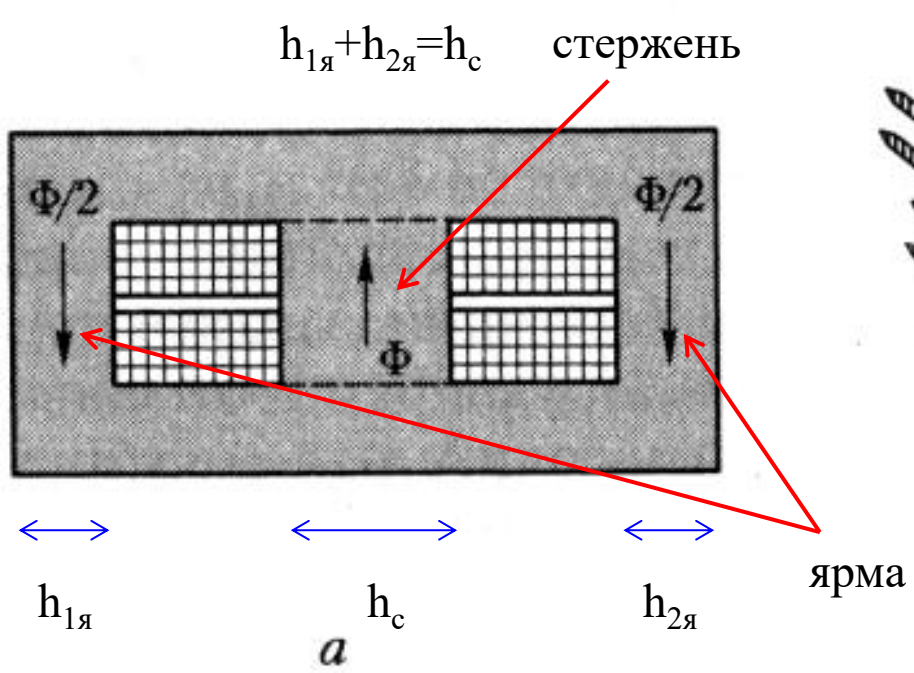
Салқындату жағдайы жақсы, себебі орамалардың беті ашықтау орналасады. Сонымен қатар жоғары кернеулі және үлкен қуатты трансформаторларда орамаларды оқшаулау ыңғайлы. Сондықтан күштік трансформаторларда стерженді құрылым өте кең таралған.

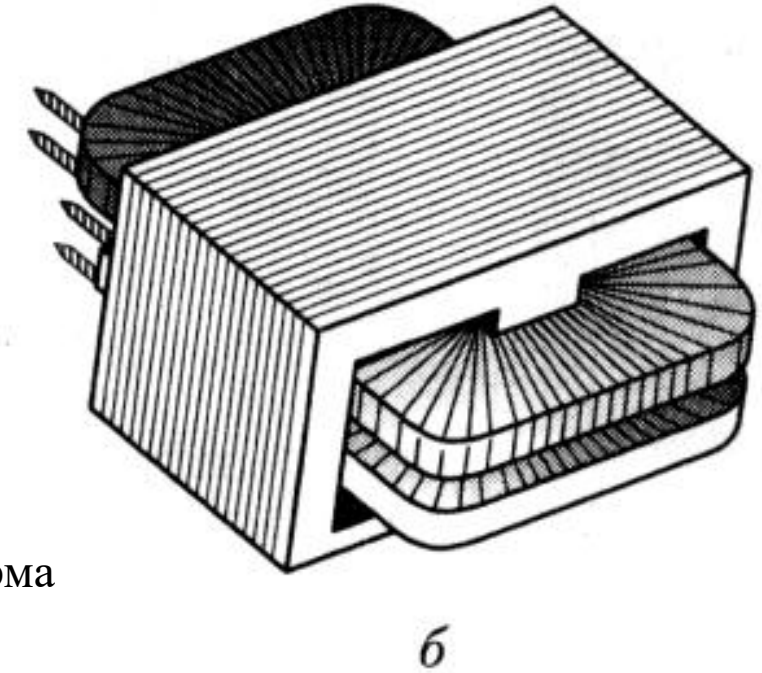
Болат өзекшенің орам қимасын толтыруы ($k_з = 0,9$)



Бірфазалы бронды трансформатор

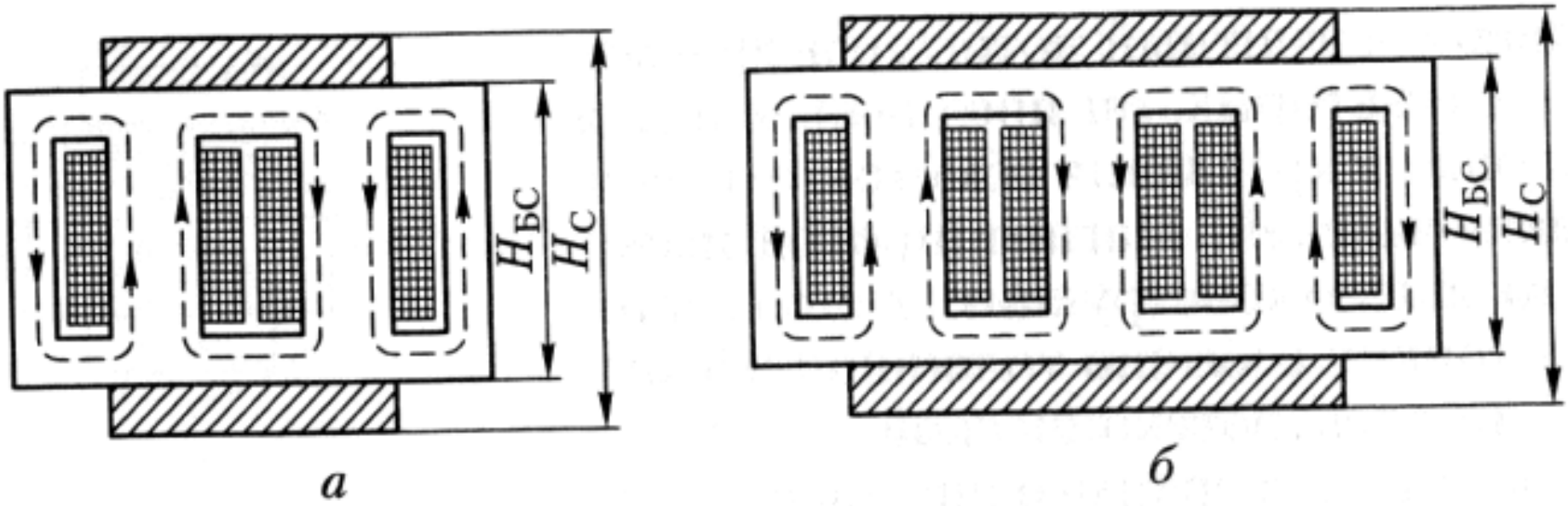
Магнит ағыны ярмамен сасыстырғанда стерженьде екі есе көп





Механикалық беріктігі жоғары және қысқа тұйықталу кезіндегі электр динамикалық күштерге төзімді. Бронды трансформаторлар төмен кернеулі, үлкен токты құрылғыларда және арнайы трансформаторларда жиі қолданылады.

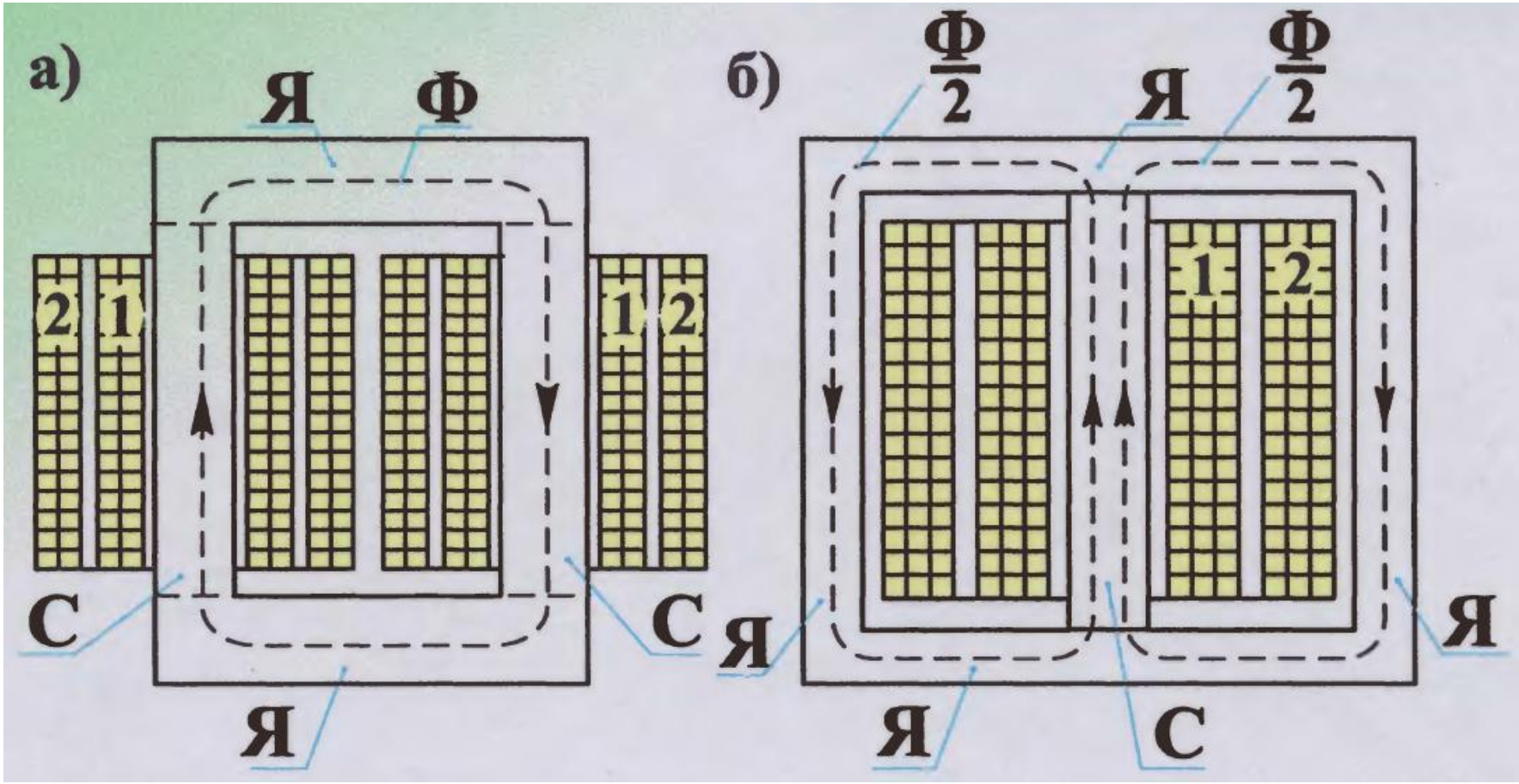
Бронстерженді трансформатор



$$H_{БС} << H_С$$

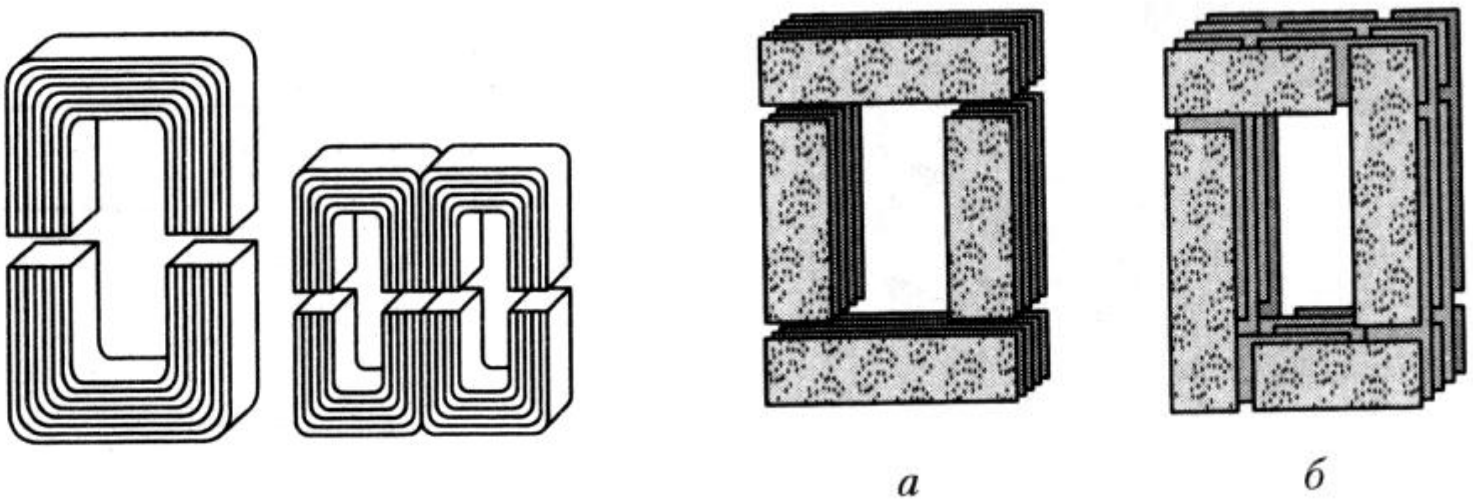
а – бірфазалы, б – үшфазалы

$H_{БС}$ - бронь-стерженьді магнитөткізгіштің биіктігі, $H_С$ - дәл сондай қуаттағы кәдімгі стерженьді магнитөткізгіштің биіктігі.

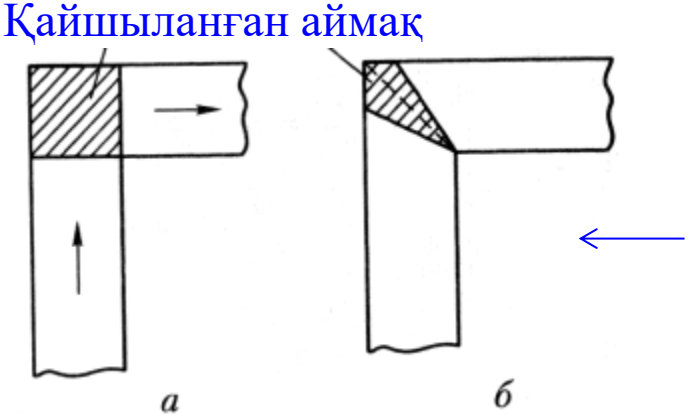


а) стерженді, б) бронды

Магнитөткізгіштің конструкциясы



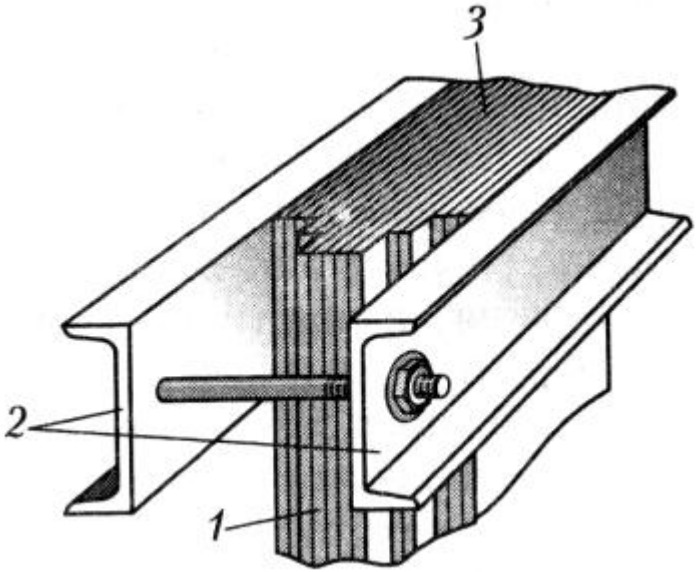
а – түйістірілген, б – шихталанған (қайшыланған)



Магнит ағынын аз шығынмен, тиімді тасымалдауға арналған ерекше құрылымды болат пластиналар

а – тік бұрышты, б – қиғаш беттесу

Магнитөткізгіштің конструкциясы







Магнитөткізгіштің конструкциясы



Оралған (ленталы)



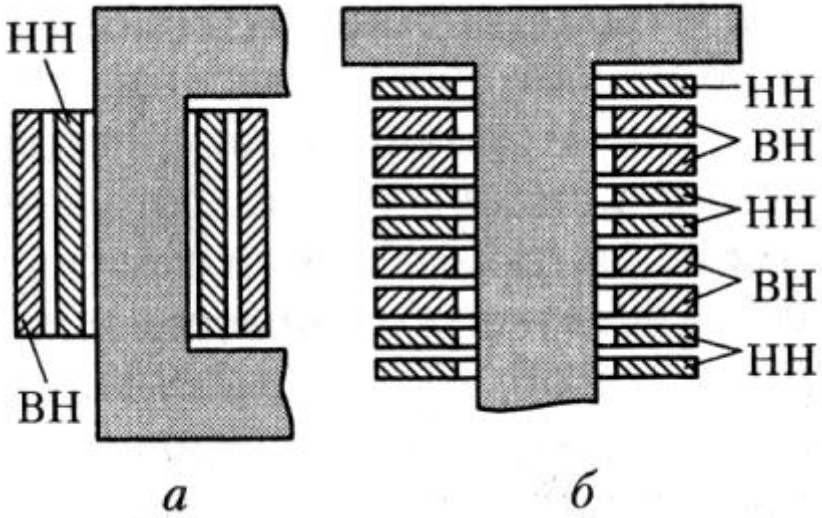
Магнитөткізгіштің конструкциясы

Нығыздалған ұнтақ (Престелген)



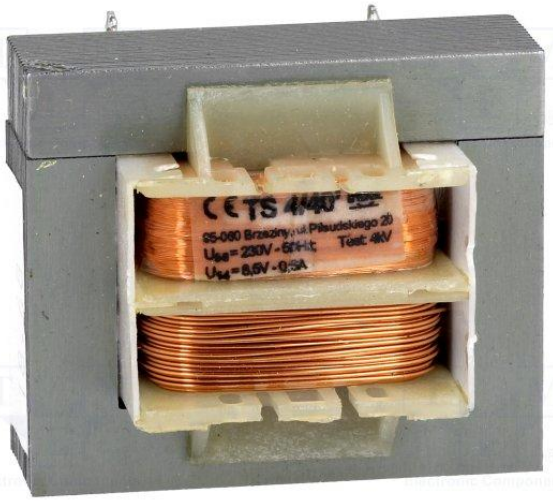


Орамдардың орналасу түрлері



а – концентрлі, б – диск тәрізді (қатармен)





Трансформатордың номинал параметрлері:

- $U_{1\text{ном}}$ – номинал бірінші (первичной) сызықты кернеу;
- $U_{2\text{ном}}$ – номинал екінші (вторичной) сызықты кернеу, өлшем бірлігі В немесе кВ;
- $I_{1\text{ном}}$ және $I_{2\text{ном}}$ – номинал сызықты токтар, өлшем бірлігі А;
- $S_{\text{ном}} = U_{1\text{ном}} I_{1\text{ном}}$ – номинал толық қуат, үш фаза үшін $S_{\text{ном}} = \sqrt{3} U_{1\text{ном}} I_{1\text{ном}}$ [кВА].

Трансформатор кернеулерінің теңдеулері

$$\Phi = \Phi_{max}\sin\omega t \ (2) \quad \rightarrow \quad e_1 = -w_1\left(\frac{d\Phi}{dt}\right) \ (1)$$

$$e_1 = -\omega w_1 \Phi_{max}\cos\omega t \ (3)$$

$$\cos\omega t = -\sin(\omega t - {}^{\pi}/_{2})$$

$$\boldsymbol{e_1 = \omega w_1 \Phi_{max} \sin\left(\omega t - {}^{\pi}/_{2}\right)} \ (4),$$

$$\boldsymbol{e_2 = \omega w_2 \Phi_{max} \sin\left(\omega t - {}^{\pi}/_{2}\right)} \ (5).$$

ЭҚК фаза бойынша Φ ағыннан ${}^{\pi}/_{2}$ бұрышқа қалып отыр.

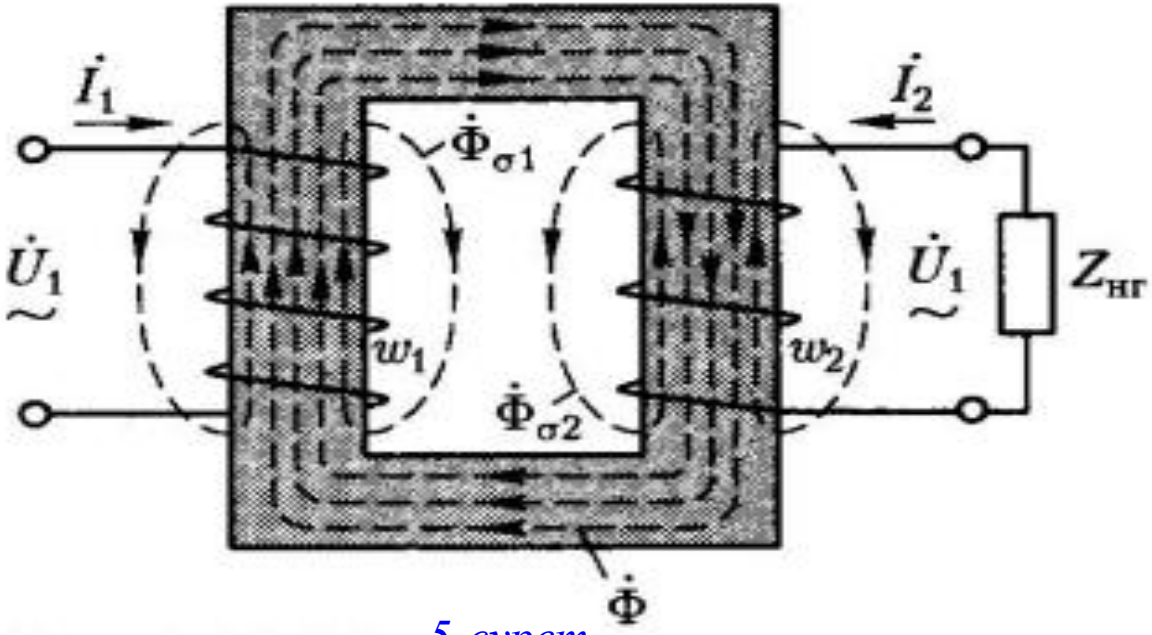
ЭҚК максимал мәні $E_{1max} = \omega w_1 \Phi_{max}$ (6).
Бұл теңдігімізді $\sqrt{2}$ бөліп жиілікті ашып ($\omega = 2\pi f$) жазсақ ЭҚК нақты (әсерлі) мәнін аламыз:

$$E_1 = \frac{E_{1max}}{\sqrt{2}} = \left(\frac{2\pi}{\sqrt{2}}\right) w_1 f \Phi_{max} = 4.44 w_1 f \Phi_{max} \quad (7),$$

$$E_2 = 4.44 w_2 f \Phi_{max} \quad (8)$$

Екі орамның ЭҚК қатынасын, яғни $k = {E_1}/{E_2} = {w_1}/{w_2} \approx {U_{1\text{ном}}}/{U_{2\text{ном}}}$ (9) трансформация коэффициенті деп атайды.

Бір фазалы трансформатордағы магнит ағынының таралуы



5-сурет

$\Phi_{\sigma 1}$ және $\Phi_{\sigma 2}$, шашыраңқы магнит ағындары, олар өз орамаларының орамдарымен жанасқан және сол жерде шашыраңқы ЭҚК тудырады,

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1}\left(\frac{di_1}{dt}\right);\ e_{\sigma 2} = -L_{\sigma 2}\left(\frac{di_2}{dt}\right).$$

Шашырайтын ЭҚК нақты (әсерлі) мәні өзіне сәйкес орама токтарына пропорционал болады:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_1; \qquad \dot{E}_{\sigma 2} = -j\dot{I}_2 x_2 \ (10)$$

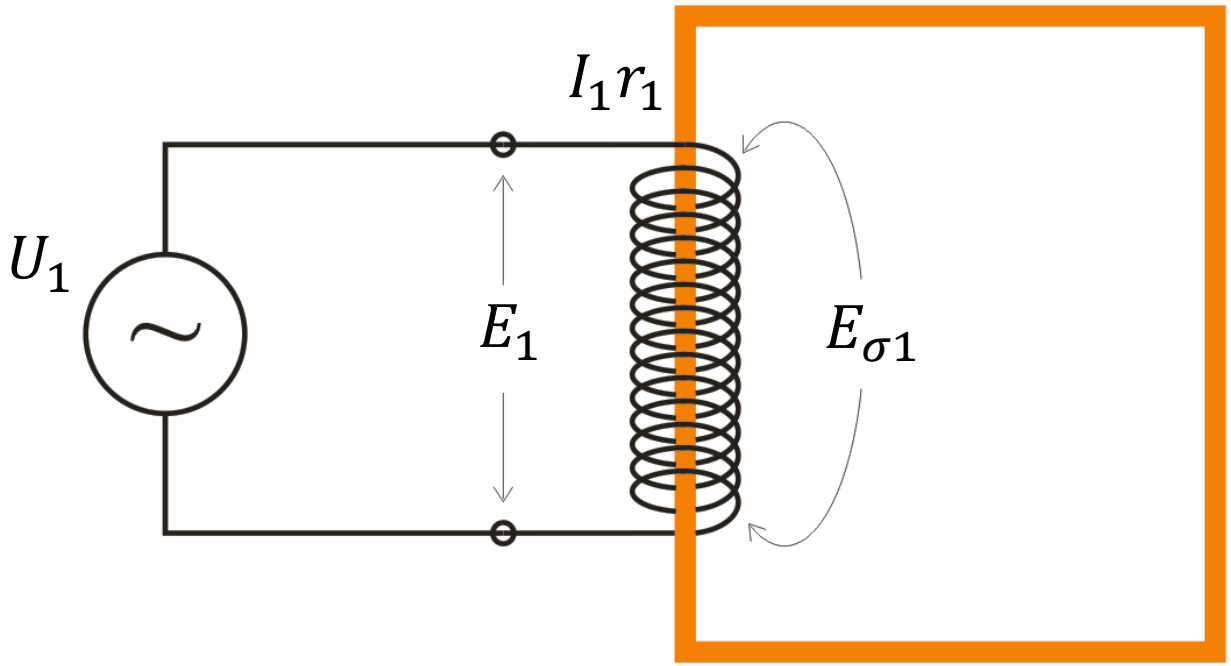
мұндағы x_1 және x_2 – шашырау кезіндегі орамалардың индуктивті кедергілері. Ал минус таңбасы шашыраңқы ЭҚК реактивті екенін білдіреді.

Енді Кирхговтың екінші заңын қолданып желіден $\dot{U}_1$ кернеу беріліп тұрған трансформатордың алғышқы тізбегі үшін теңдеу алайық, яғни кернеу теңдеу:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_1 r_1$$

$$\boldsymbol{\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1} \ (11)$$

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \ (11)$$



мұндағы r_1 — бірінші ораманың активті кедергісі. Ал E_1 — негізгі магнит ағыны тудырып отырған бірінші ораманың ЭҚК, яғни өздік индукция ЭҚК, сондықтан $\dot{U}_1$ кернеуге қарсы бағытталған.

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \ (11)$$

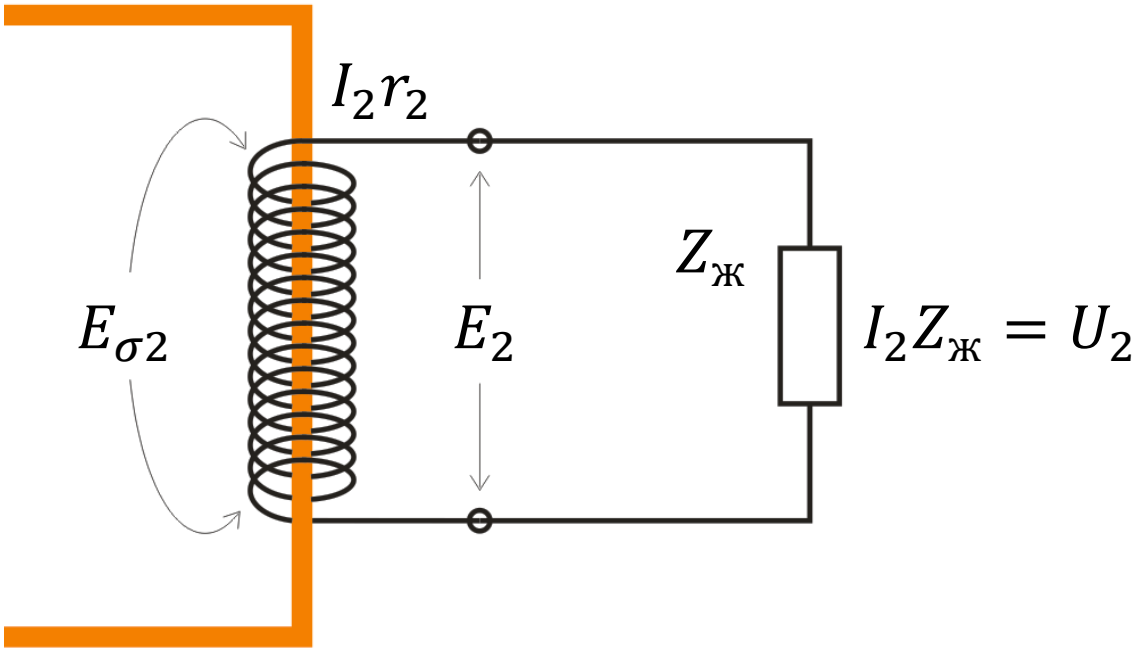
Жалпы жағдайда бірінші реттік ораманың активті және индуктивті кедергілеріндегі кернеу түсуі ЭҚК-пен салыстырғанда өте аз. Сондықтан (11) теңдеуді жуықтап келесі түрде жазуға болады:

$$\dot{U}_1 \approx (-\dot{E}_1). \ (12)$$

Жүктемеге жалғанған трансформатордың екінші орамасы үшін кернеу теңдеуі:

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} = \dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 Z_{\text{ж}}. \quad (13)$$

мұндағы $r_2 -$ екінші ораманың активті кедергісі, ал төмендегі өрнек жүктемеге түскен кернеу, яғни трансформатордың шығыс кернеуі: $I_2 Z_{\text{ж}} = U_2$.



Осылайша трансформатордың екінші орамасындағы кернеу келесі түрде анықталады:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2; \ (14)$$

немесе

$$\dot{I}_2 Z_{ж} = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2. (14*)$$

Жүктеме жалғанған кезде екінші орамадан ток өткендіктен, оның r_2 активті және x_2 индуктивті кедергілерінде кернеу түседі. Сондықтан трансформатордың шығыс кернеуі $\dot{U}_2$ индукцияланған ЭҚК-тен $\dot{E}_2$ өзгеше болады.